

УДК 681.542.35

**В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, А.М. Мацуй, асп.***Кіровоградський національний технічний університет*

## Аналіз умов і засобів ідентифікації розрідження пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника

У статті приведені результати аналізу умов ідентифікації розрідження пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника та засобів її здійснення. Показано, що в зоні ідентифікації здійснюються складні коливання пульпи. Для вимірювання рівня і тиску пульпи найкраще підходить пневматична трубка, однак дані засоби потребують удосконалення.

**розрідження, коливання пульпи, умови, пристрої ідентифікації, рівень, тиск, пневматична трубка**

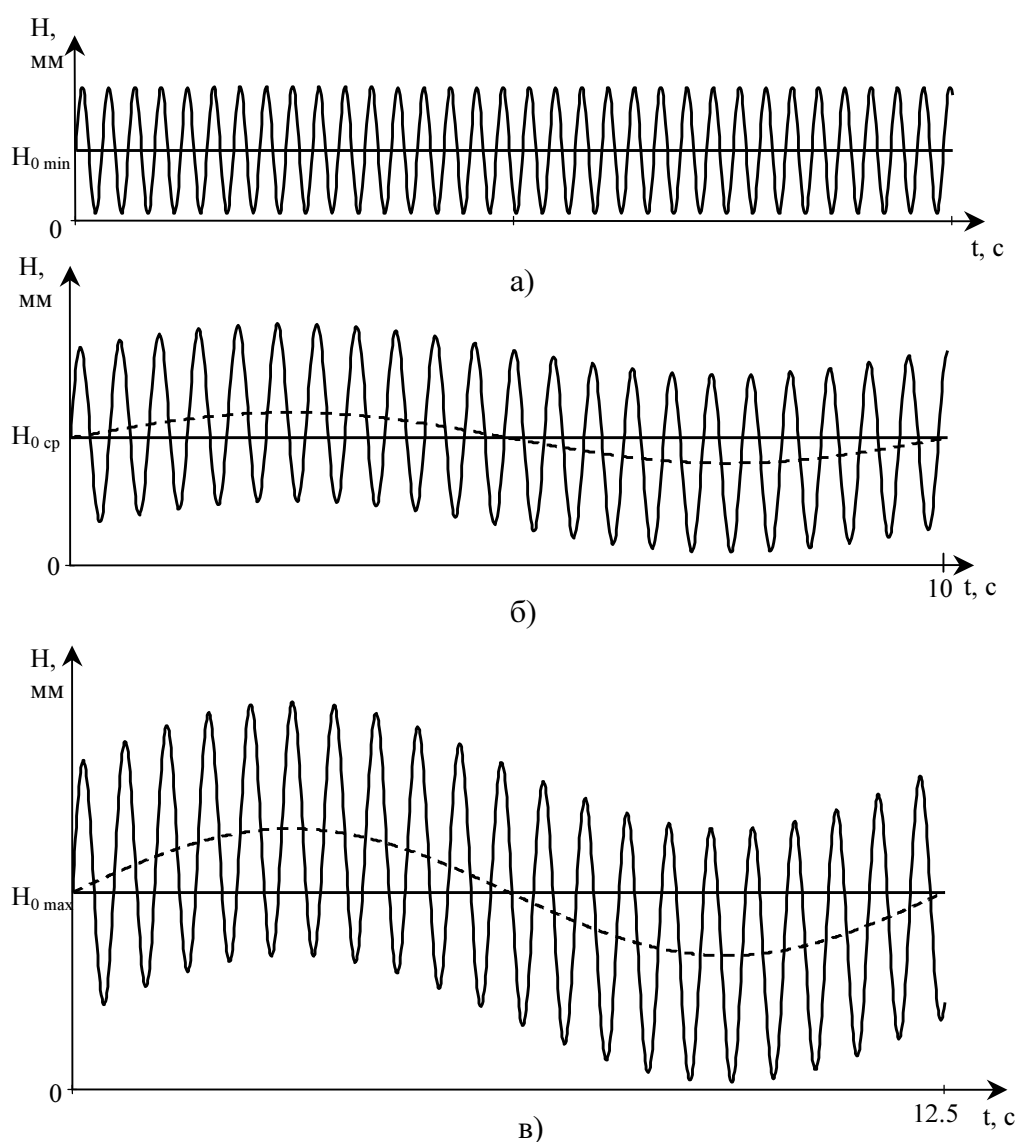
У збагачувальній галузі найбільш енерговитратним процесом є подрібнення руди. Міцні руди у першій стадії подрібнюють за схемою: стрижневий млин у відкритому циклі – спіральний механічний класифікатор – кульовий млин у замкнутому циклі. За цією схемою основне навантаження несе кульовий млин, що працює у замкнутому циклі з класифікатором. Ефективність його роботи в значній мірі залежить від розрідження пульпи – співвідношення тверде/рідке, оскільки воно впливає на ефективність роботи куль і транспортуючі можливості рідкого матеріалу. Найкраща ефективність роботи кульового млина забезпечується при вмісті твердого в пульпі 80...82%. Складні умови роботи даного кульового млина, що визначаються мокрим і в'язким вихідним живленням і циркулюючим навантаженням не дозволяють автоматично керувати цим процесом. Тому кульовий млин, який несе основне навантаження, працює далеко не в оптимальному режимі і, як наслідок, перевитрачає електричну енергію, кулі, футерівку і знижує продуктивність по готовому продукту. Такий стан роботи циклу подрібнення не відповідає вимогам законодавства України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці та промисловості. Тому тема статті, спрямованої на розв'язання задачі ідентифікації розрідження пульпи в кульовому млині такого циклу подрібнення, є актуальною. Матеріали даної статті також спрямовані на виконання науково-дослідної роботи “Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора” (державний реєстраційний номер 0107U005470), яка є частиною розв'язання відміченої проблеми.

Задачу автоматичного підтримання заданого співвідношення руда/вода в млинах з циркулюючим навантаженням в різні роки розв'язують В.І. Дмитрієв, Д.А. Клименко, А.П. Савілов, А.А. Саганенко, А.Л. Яровіцин та інші. Розроблені засоби для автоматизації циклу подрібнення, що розглядається, не підходять. Для кульових млинів, які подрібнюють піски класифікатора, Ф.М. Дегтярьовим, О.О. Мерзляковим, В.О. Кондратцем, В.І. Новохатком, М.І. Кучмою та Т.І. Гуленком розроблено пристрій, що дозволяє достатньо ефективно стабілізувати співвідношення тверде/рідке, однак тут не подолана небезпека забивання каналу витратоміра пульпи у пісковому жолобі класифікатора скрапом та сторонніми предметами. Впродовж тривалого часу інші засоби не розроблялися. В.О. Кондратець і А.М. Мацуй запропонували підхід ідентифікації розрідження пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника по рівню та тиску середовища, однак ці технологічні параметри в цих складних умовах ніхто не вимірював.

Метою даної роботи є аналіз умов ідентифікації розрідження пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника та обґрунтування типу інформаційних засобів.

Пульпа, що надходить у приймальний пристрій завиткового живильника з пісового жолоба, має період коливань 10 с. Амплітуда таких коливань складає четверту частину амплітуди коливань пульпи у пісовому жолобі класифікатора. У найбільш імовірній ситуації роботи класифікатора такі коливання взагалі припиняються. Тому можна рахувати, що коливання рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника під дією рухомих пісків класифікатора або практично відсутні, або мають порівняно невелику амплітуду і період 10...12,5 с [1].

Під впливом захватних елементів завиткового живильника формуються хвилі зі змінними періодом і амплітудою в залежності від рівня пульпи у завитковому живильнику. Їх період в основному змінюється від 0,3 до 0,6 с відповідно при малих і найбільших можливих значеннях рівня пульпи [2]. Амплітуда цих коливань дорівнює значенню рівня пульпи у приймальному пристрої. Тобто, з ростом рівня пульпи у



а – мінімальні; б – середні; в – максимальні витрати пісків двоспірального класифікатора

Рисунок 1 – Характер коливань рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника

приймальному пристрої зростає як період, так і амплітуда коливань, а частота зменшується (рис.1).

З врахуванням руху пісків і роботи завиткового живильника отримаємо результуючий коливальний процес у приймальному пристрої. При малих значеннях рівня пульпи, що імовірно відповідає безколивальному руху пісків, отримаємо найбільш високочастотні коливання рівня пульпи з періодом близько 0,3 с і найменшим значенням амплітуди (рис. 1, а).

Середні значення пульпи будуть створюватися при середніх витратах пісків і циркулюючих навантаженнях, що імовірно перевищують 100%. При цьому отримаємо коливання з періодом 10 с і незначною величиною амплітуди. Період коливань, які створюються завитковим живильником, буде складати наближено 0,45 с. Амплітуда буде мати середнє значення рівня пульпи (рис. 1, б).

Найбільші значення рівня пульпи забезпечуються великими потоками пульпи, які створюються при значних циркулюючих навантаженнях. Тут коливання піскового потоку будуть мати найбільші значення при найдовшому періоді коливань – 12,5 с. Коливальний процес завиткового живильника також буде мати найбільше значення амплітуди та періоду, що наближається до 0,6 с (рис. 1, в).

З розглянутого видно, що при будь-яких значеннях рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника результуючі коливання будуть подані низькочастотною складовою, на яку накладені більш високочастотні коливання. При порівняно малих значеннях рівня пульпи її поверхня в приймальному пристрої буде змінюватися з самою високою частотою відносно практично горизонтального середнього значення. При середніх значеннях рівня пульпи високочастотна складова буде мати період близько 0,45 с при збільшеній амплітуді. Вона буде змінюватись на тлі низькочастотного коливання з періодом 10 с і певним значенням амплітуди. На цьому коливанні вкладається 22,2 коливань з підвищеною частотою.

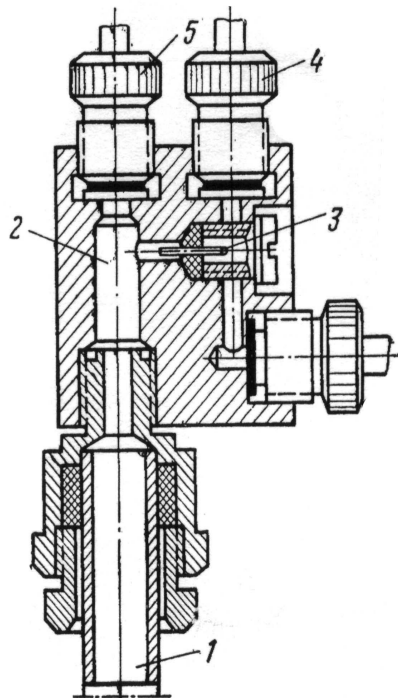
У випадку найбільших значень рівня пульпи пісковий потік буде мати період 12,5 с і найбільше значення амплітуди. Коливання від завиткового живильника будуть мати найбільшу амплітуду при періоді 0,6 с. За період низькочастотного коливання буде здійснено 20,8 коливань підвищеної частоти.

Отже, в приймальному пристрої завиткового живильника основними є коливання рівня пульпи, які збуджуються захватними елементами. Вони відбуваються на тлі середнього значення рівня пульпи або з його плавним зростанням і спадами, які залежать від амплітуди коливань результуючого піскового потоку.

Коливання рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника здійснюються зі значною частотою 1,7...3,3 Гц. Це потребує швидкодіючих засобів визначення рівня і тиску пульпи. Крім того, ці засоби повинні здійснювати вимірювання вказаних параметрів в одній точці. Співвідношення руда/вода можливо визначити і по одній фіксованій точці значень рівня і тиску пульпи, однак помилка визначення параметра може бути значною в наслідок неоднорідності пульпи. Тому параметри бажано осереднювати впродовж певного інтервалу часу.

Для контролю хвильового процесу необхідно обґрунтувати перетворювачі рівня і тиску. Перетворювачі рівня рідких середовищ в збагачувальній галузі в основному можливо подати пристроями поплавкового, манометричного, пневматичного, електричного та радіоактивного типу [3, 4]. Поплавкові перетворювачі використовують для вимірювання рівня рідин, які мають незмінну густину. Використання манометричних перетворювачів рівня на збагачувальних фабриках обмежується складністю і ненадійністю цих систем контролю [5]. Серед електричних рівнемірів найбільше розповсюдження отримали кондуктометричні, ємнісні, індуктивні та електротеплові. Загальним недоліком кондуктометричних пристроїв є підвищені

вимоги до безпеки експлуатації, вибухонебезпечності та ін. [6]. Крім того, вимірювальні електроди практично не можливо застосувати в приймальному пристрої завиткового живильника в наслідок динаміки потоку пульпи. Недоліком пристроїв вимірювання рівня ємнісним та індуктивним методами є значна похибка вимірювання, яка зв'язана з коливанням параметрів датчиків не лише від рівня, але і від речовинного складу пульпи, вмісту твердого та ряду інших факторів [6]. Похибка цих рівнемірів в реальних умовах може складати десятки відсотків [7]. Виключення впливу ємності кабелю на результат вимірювання зменшує похибку, але не від зміни електропровідності і діелектричної проникності [7]. В умовах роботи завиткового живильника ємнісний та індуктивний рівнеміри використати практично не можливо. Недоліком електротеплових пристроїв (зі змінною тепловіддачею) є складність налагодження і стабілізації роботи, а також трудність компенсації температурної похибки вимірювання [8]. Для гірничої промисловості розроблено ряд пристроїв радіоактивного типу. Вони використовують в основному  $\gamma$  – випромінювання [9]. На збагачувальних фабриках використовують пристрої, засновані на вимірюванні степені поглинання чи зворотного розсіювання. Пристрої даного типу не можливо застосувати для вимірювання рівня пульпи в завиткових живильниках в наслідок його коливання, осідання на дні приймального пристрою твердої фракції, зміни густини та вмісту гідросуміші. Крім того, експлуатація та обслуговування цих пристроїв вимагають значних витрат. Стримуючим фактором також є і спеціальні інструкції, створені відносно будь-якої техніки, що працює на основі іонізуючих випромінювань [10]. Ультразвукові локаційні пристрої працюють за принципом реєстрації відбитого від поверхні вимірюваного середовища ультразвукового імпульсу [6]. Вони не можуть бути застосованими в даних умовах, виходячи з того, що вимірювана поверхня пульпи сильно коливається, неперервно створюються бризки пульпи [11]. Одна з останніх



1 – трубка; 2 – камера; 3 – дросель; 4, 5 – штуцери

Рисунок 2 – Устрій пневматичного датчика рівня

таких розробок – ультразвуковий рівнемір МТМ900 також не придатна для контролю рідин, що мають властивість налипання та кристалізації. Крім того, у них невимірювана зона складає 0-600 мм, яка є характерною для приймального пристрою завиткового живильника. Практично за тих же причин не можливо застосувати для вимірювання даного параметра і піроелектричні датчики рівня [12].

В умовах приймального пристрою завиткового живильника ефективно можуть працювати пневматичні пристрої, які відрізняються високою динамічністю та точністю вимірювань.

Пневматичний датчик рівня (рис. 2) [13] включає трубку 1 і камеру 2. В камеру через штуцер 4 і дросель 3 потрапляє повітря, стиснуте до невеликого рівня. Далі

повітря по трубці 1 виходить через нижній зріз в рідину, витісняючи її з трубки. Тиск повітря в трубці дорівнює тиску рідини на глибині нижнього зрізу і відображає висоту (рівень) над зрізом. Величина тиску повітря передається манометричному пристрою по імпульсній лінії, яка підключається до штуцера 5. Трубку виконують діаметром 12...25 мм. Вона не доходить до дна резервуара на 100...200 мм. Стиснуте повітря подають через голчастий клапан так, щоб виходило дві – три його бульбашки в секунду [8]. Для усунення похибки, обумовленої зміною густини або температури контрольованого середовища, використовують дві барботажні трубки, які занурюють у рідину на різну глибину [14]. Максимальна похибка вимірювання таких засобів складає 4% мінімального значення контрольованого рівня [10]. Такі засоби розроблені і стосовно збагачувальних фабрик [6].

В пневматичному рівнемірі при зміні тиску джерела живлення та прохідного перетину голчастого клапана виникають додаткові похибки [6]. Недоліком цих рівнемірів також є складність конструкції і необхідність мати джерела стиснутого повітря [8]. П'єзометричні пристрої достатньо громіздкі, вимагають спостереження за герметичністю імпульсних ліній [13]. Як вказують Е.В. Вишневський і В.П. Забіякін [3], досвід експлуатації п'єзометричних рівнемірів показав їх ненадійність в роботі в основному в наслідок забруднення трубок. В умовах приймального пристрою завиткового живильника, де існують складні коливання зі значною частотою і амплітудою, п'єзометричний рівнемір тим більше не зможе надійно здійснювати вимірювання.

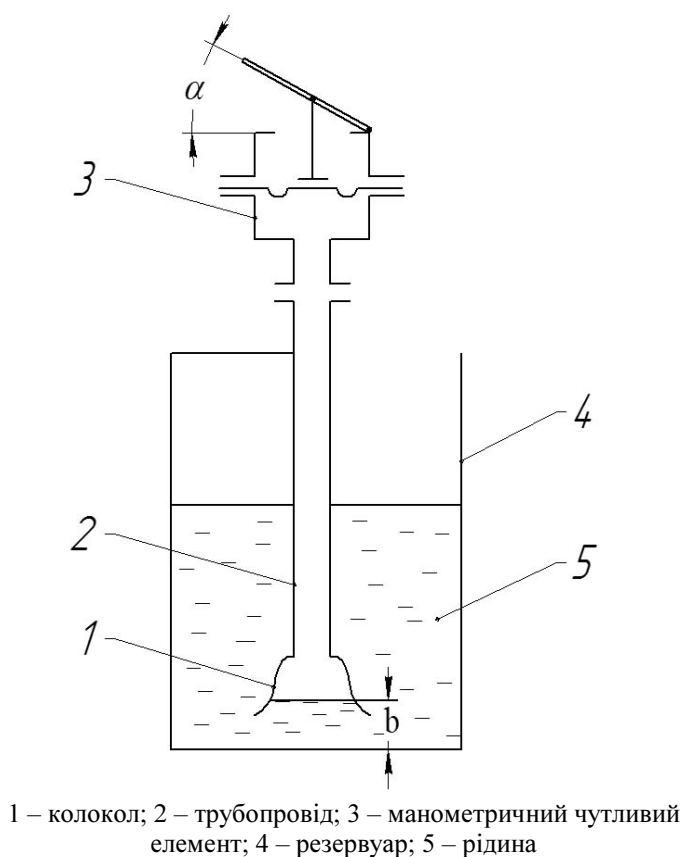


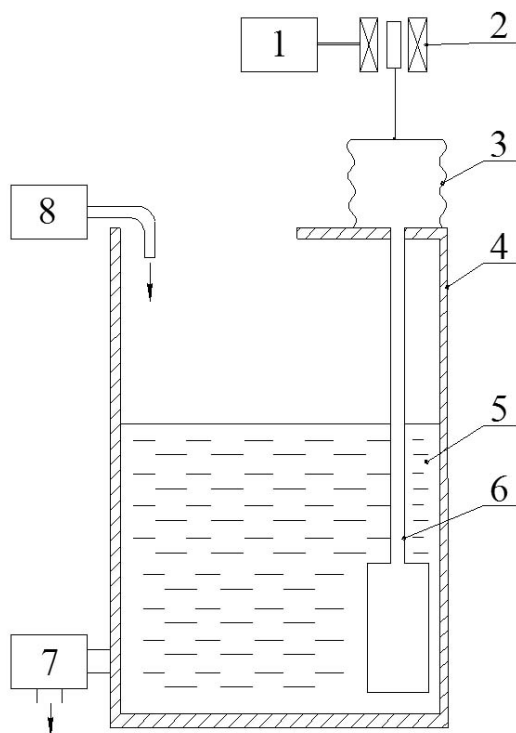
Рисунок 3 – Схема п'єзометричного рівнеміра без пневматичної трубки і живлення її повітрям

рідини над нижньою кромкою колокола.

При великому діапазоні зміни рівня рідини, що знаходиться в резервуарі, а також значній його висоті, п'єзометричний рівнемір може працювати без пневматичної трубки і живлення її стиснутим повітрям [15]. Для цього на дні резервуара 4 (рис. 3) встановлюють колокол 1, порожнина якого за допомогою трубопроводу 2, що має малий внутрішній діаметр, з'єднується з порожниною манометричного чутливого елемента 3. При заповненні пустого резервуара 4 рідина 5 проходить під колокол на висоту  $b$  і викликає стиснення повітря, що знаходиться під колоколом, а також всередині трубопроводу і в корпусі манометричного чутливого елемента під мембраною. Створений тиск викликає прогин мембрани і відхиляє стрілку манометра на кут  $\alpha$ , який визначається рівнем

При роботі п'єзометричного рівнеміра з колоколом додаткові похибки можуть виникати в наслідок зміни об'єму порожнини, яка заповнена повітрям. Крім цього повітря, яке знаходиться під колоколом, може частково абсорбуватися або розчинятися в рідині, що зменшить величину тиску і приведе до появи нової методичної похибки [15]. Для виключення цієї похибки отвір колокола біля дна резервуара перекривають тонкою еластичною мембраною, яка запобігає контакту повітря з рідиною і цим не допускає зменшення його кількості. Однак сили пружності мембрани, що проявляються при зміні її положення під колоколом, викликають втрати напору стовпа рідини і приводять до нової інструментальної похибки [15]. Отже, п'єзометричний рівнемір з колоколом найкраще підходить для вимірювання рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника, однак володіє кількома джерелами похибки і відповідно її значною величиною, яка більша, ніж похибка пристрою з пневмотрубною, що продувається повітрям [15].

Покращити характеристики такого рівнеміра дозволяє пристрій по авторському свідоцтву [16]. В цьому рівнемірі (рис. 4) датчик тиску змонтовано нерухомо над поверхнею контрольованого рівня рідини і виконано з жорстко закріпленим в отворі основи патрубком, що розширяється в нижній частині, який встановлено в резервуарі з зазором над його днищем.



1 – вторинний пристрій; 2 – первинний перетворювач; 3 – сильфонний датчик тиску; 4 – ємкість; 5 – вимірювана рідина; 6 – патрубок, що розширяється в нижній частині; 7 – електричний клапан зливної магістралі; 8 – електричний клапан подаючої магістралі

Рисунок 4 – Пристрій з покращеними характеристиками для вимірювання рівня рідини в ємкості

Не дивлячись на певні удосконалення, даний рівнемір також відрізняється рядом вад, що не дозволяє отримати високу точність визначення рівня пульпи, яка вимагається у випадку ідентифікації співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника. Це, зокрема, зв'язано з тим, що теорія і практика таких рівнемірів не розвивалася зважаючи на значно більшу розповсюдженість пристроїв з трубою, яка продувається повітрям. Оскільки в даному випадку можливо застосувати лише рівнемір з трубою, що не продувається повітрям, виникає необхідність в його удосконаленні шляхом проведення теоретичних і експериментальних досліджень.

Ідентифікація співвідношення руда/вода потребує крім рівня знання тиску пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Для визначення тиску рідин використовують пристрої

зважування резервуарів з рідиною, вимірювання сили, що діє на опори, на яких

встановлено резервуар [5]. Конструкція завиткового живильника не передбачає відділення і окремої установки приймального пристрою на опорах. Крім того, маса завиткового живильника може змінюватися в широких межах в наслідок осідання твердого у приймальному пристрої та налипання його на стінки при розбризкуванні пульпи.

Тиск в резервуарі також можна встановити зважуванням за допомогою тензоперетворювачів байпаса, з'єднаних з резервуаром [5]. На пульпах з великою густиною таке вимірювання здійснити не можливо. Тиск чистих рідин у відкритих резервуарах можна виміряти підключенням на задану відмітку через імпульсну лінію манометричних пристроїв [13]. На пульпах з осіданням на дні твердого це здійснити також не можливо.

Датчики з резиновим балоном, розміщеним на дні резервуара, який заповнено разом з трубою, що з'єднує балон з пристроєм реєстрації тиску, повітрям і герметизовано [5] не забезпечує надійності в умовах роботи завиткового живильника. Занурювані в резервуар датчики з мембраною, що знаходиться на невеликій відстані від дна [5], також не забезпечують високої надійності роботи, оскільки легко руйнуються під впливом механічної дії твердого, що рухається з великою швидкістю і здійснює складні коливання. Не відрізняються в таких умовах надійністю і засоби, перетворювачі яких прикріплюють до внутрішньої стінки резервуара [10].

Внаслідок зміни температури в широких межах, наявності вібрацій, агресивної дії середовища, налипання твердого не можливо застосувати для вимірювання тиску і частотні струнні датчики [17]. По вказаним раніше причинам не придатними для вимірювання тиску пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника є і пристрої з п'єзометричними трубками, що продуваються стисненим повітрям [18].

Гідростатичні датчики фактично реагують не на рівень рідини, а на її вагу [6], тобто, вимірювання пневматичним способом засновано на вимірюванні тиску середовища на дні резервуара [8]. Це дозволяє вимірювати тиск пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника тими ж засобами, якими визначається її рівень, тобто, пневматичною трубою. При цьому, крім того, виконується умова вимірювання рівня і тиску середовища в одній точці і в одну і ту ж мить часу.

Таким чином, в приймальному пристрої завиткового живильника здійснюються коливання з великим періодом  $10 \div 12,5$  с, викликані коливаннями піскового потоку. На них накладаються коливання зі змінним малим періодом  $0,3 \dots 0,6$  с, породжені захватними елементами завиткового живильника, що потребує швидкодіючих засобів визначення рівня і тиску пульпи. Засоби контролю повинні фіксувати параметри в одній точці і в одну і ту ж мить впродовж тривалого відрізка часу. Для вимірювання рівня і тиску пульпи найкраще підходить пневматична трубка. Дані засоби потребують удосконалення для підвищення точності вимірювання.

На підставі проведених досліджень відкривається перспектива розробки пристроїв для вимірювання тиску і рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника на основі пневматичної трубки, які задовольняють вимогам ідентифікації розрідження твердого у кульових млинах, що подрібнюють піски класифікатора.

## Список літератури

1. Кондратець В.О. Дослідження впливу піскового потоку на стан пульпи у завитковому живильнику /В.О. Кондратець, А.М. Мацуй// Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2007.- №19.- С. 107-114.
2. Кондратець В.О. Дослідження умов ідентифікації розрідження пульпи при подрібненні пісків класифікатора /В.О. Кондратець, А.М. Мацуй// Академический вестник.- 2007.- №19.- С. 44-48.

3. Вишневский Э.В. Датчики в схемах автоматизации технологических процессов обогатительных фабрик /Э. Вишневский, В. Забиякин.- М.- Л.: Госэнергоиздат, 1961.- 112 [43] с.- (Библиотека по автоматике, вып.. 43).
4. Серго Е.Е. Опробование и контроль технологических процессов на обогатительных фабриках /Серго Е.Е.- К.: Вища шк., 1974.- 208 с.
5. Технические средства автоматики в горной промышленности /[Волотковский С.А., Полтава Л.И., Бунько В.А., Подольский В.А.]- М.: Госнаучтехиздат лит. по горному делу, 1962.- 332с.
6. Персиц В.З. Измерение и контроль технологических параметров на обогатительных фабриках /Персиц В.З.- М.: Недра, 1982.- 191с.
7. Карандеев К.Б. Емкостные самокомпенсированные уровнемеры /Карандеев К.Б., Гриневич Ф.Б., Новик А.И.- М.- Л.: Энергия, 1966.- 136 [195]с.- (Библиотека по автоматике, вып. 195).
8. Волотковский С.А. Автоматизация процессов на обогатительных фабриках / С. Волотковский, В. Бунько.- М.: Недра, 1964.- 282 с.
9. Бондарев Г.С. Датчики и приборы автоматического контроля для транспортировочных устройств / Бондарев Г.С.- М.- Л.: Госэнергоиздат, 1961.- 48 [45] с.- (Библиотека по автоматике, вып. 45).
10. Можегов Н.А. Автоматические средства измерений объема, уровня и пористости материалов / Можегов Г.С.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 120 [674] с.- (Библиотека по автоматике, вып. 674).
11. Хансуваров К.И. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара: учебн. пособ. [для техникумов] / К.И. Хансуваров, В.Г. Цейтлин.- М.: Изд. стандартов, 1990.- 287 с.
12. Шрайбер Г. Инфракрасные лучи в электронике / Шрайбер Г.: пер. с франц. Н.О. Сомова.- М.: ДМК Пресс, 2001.- 240 с.- (В помощь радиолюбителю).
13. Троп А.Е. Автоматизация обогатительных фабрик / Троп А.Е., Козин В.З., Аршинский В.М. – М.: Недра, 1970.- 320с.
14. А.с. 898263 СССР, МКИ G 01 f 23/16. Пьезометрический уровнемер / В.Н. Прилепский, В.Ф. Картунова, Ю.В. Самаркин, М.А. Соловьев (СССР).- №2925712/18-10; заявл. 16.05.80; опубл. 15.01.82, Бюл. №2.
15. Яковлев Л.Г. Уровнемеры / Яковлев Л.Г.- М.: Машиностроение, 1964.- 190с.
16. А. с. 230447 СССР, МКИ G 01 f 31/01. Устройство для измерения уровня жидкости в емкости / М.Г. Бытенский (СССР).- №1150319/ 18-10; заявл. 21.04.67; опубл. 09.06.68, Бюл. №34.
17. Милохин Н.Т. Частотные датчики систем автоконтроля и управления / Милохин Н.Т.- М.: Энергия, 1968.- 128 [310] с.- (Библиотека по автоматике, вып. 310).
18. Троп А.Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / Троп А.Е., Козин В.З., Прокофьев Е.В.- М.: Недра, 1986.- 303с.

В статье приведены результаты анализа условий идентификации разрежения пульпы в приемном устройстве улиткового питателя и приборов для её осуществления. Показано, что в зоне идентификации осуществляются сложные колебания пульпы. Для измерения уровня и давления пульпы наилучше подходит пневматическая трубка, однако данные средства требуют усовершенствования.

In the article the results of analysis of terms of authentication of rarefaction of mash are resulted in the takers-off of snail feeder and devices for its realization. It is rotined that the difficult vibrations of mash are carried out in the area of authentication. For measuring of level and pressure of mash a pneumatic tube befits the best, however these facilities are required by improvements.